



ANEXO: CALCULO DEL PARALELISMO ENTRE CONDUCTORES. DISTANCIAS

REYGAR INGENIERÍA SLP

Autor: Francisco Jose Reyna Martin

Graduado en Ingeniería Eléctrica

REYGAR INGENIERIA SLP. B-90.138.603

INDICE

0.-Cálculo de la distancia mínima entre 2 líneas aéreas paralelas de Media Tensión.....	3
1. Datos de entrada.....	3
2.Datos de Partida. Propiedades mecánicas de los conductores (valores de catálogo adoptados).....	4
2.1. Geometría.....	5
2.2. Vanos, alturas y armados.....	5
2.3. Desfase longitudinal.....	5
3. Cálculo de cargas por unidad de longitud (peso + viento)	6
3.1. Peso propio (peso gravitatorio por metro).....	6
3.2. Presión dinámica del viento.....	7
3.3. Resultante por metro (combinación vectorial simplificada)	7
4. Tensiones iniciales y efecto térmico (ecuación del cambio de condiciones – esquema	7
4.1. Reducción de tensión por dilatación térmica (aproximación)	7
5. Acciones: viento y peso	8
5.1 Conversión de viento a presión	8
5.2 Cargas por metro sobre cada conductor.....	8
5.3. Tracción a 65 °C (cambio de condiciones)	9
5.4. Flecha y componentes (vertical y lateral) en cada vano	9
6. Desplazamiento lateral total (blow-out)	10
6.1. Variación del blow-out dentro del vano (parábola)	
6.2. Relación entre la coordenada común x y la posición en cada vano ...	12
6.3. Distancia horizontal base (tresbolillo, peor caso)	12
6.4. Resultado: distancia mínima en el tramo realmente paralelo (43 m) .	13

7. Resultado: distancia mínima en el tramo realmente paralelo.....	14
8. Resultados en el tramo solapado (x = 75 a 118 m)	15
9. Comprobación reglamentaria ITC-LAT 07 (paralelismo)	16
10. Conclusión técnica clara para interpretación	17

REYGAR INGENIERIA

0.-Cálculo de la distancia mínima entre 2 líneas aéreas paralelas de Media Tensión

Objeto: Cálculo de la distancia mínima reglamentaria entre dos líneas aéreas de media tensión paralelas, siguiendo la ecuación del cambio de condiciones y considerando viento lateral de 140 km/h y temperatura de servicio 65 °C.

Vamos a considerar la línea existente que deriva desde la LAMT denominada desde SET hasta el CT n° Coop....., que deriva desde la LAMT que llega al CT Hta..... n°, según el plano de planta que se acompaña.

1. Datos de entrada

- Tensión de las líneas: **15.000 V (15 kV). Zona A.**
- **Línea 1, es la línea existente**
- Conductor: **LA-30.**
- Vano entre apoyos: **L1 = 118,00 m.** (vano desde el CT al apoyo que cruza la carretera (ver plano de planta)
- Altura libre de apoyo: **h1 = 14,00 m.**
- Cruceta (longitud total proyectada al eje): **Lcr1 = 1,10 m.**
- Disposición: tresbolillo (crucetas separadas 2,00 m verticalmente).
- Aisladores: vidrio Esperanza 1503, 2 unidades por conductor (cadena de aisladores). (No influyen en separación horizontal directa salvo considerar el punto de empotramiento en la cruceta).
- Esfuerzo en punta considerado del apoyo: **P1 = 1.800 kgf.**

Línea 2, es la línea proyectada

- Conductor: **LA-56.**

- Vano entre apoyos: **L2 = 160,00 m.** desplazado del anterior(existente) 75 m., (ver plano adjunto), considerando el punto de partida u origen de nuestros cálculos, el apoyo existente antes del paralelismo
- Altura libre de apoyo: **h2 = 16,00 m** (según proyecto).
- Cruceta: **Lcr2 = 1,10 m.**
- Disposición: tresbolillo, crucetas separadas 2,50 m.
- Cadena de amarre: longitud 1,00 m. (aisladores poliméricos, para protección avifauna)
- Esfuerzo en punta declarado (s/proyecto, apoyo): **P2 = 2.000 kgf.**

Condiciones ambientales y de cálculo

- Viento de cálculo: **V = 140 km/h = 38,8889 m/s.** *Para un supuesto más desfavorable*
- Temperatura de servicio: **T.serv = 65 °C.**
- Temperatura de referencia (hipótesis usual): **T_ref = 20 °C → ΔT = +50 °C.**
- Coeficiente de arrastre usado: **C.d = 1,20** (valor práctico de proyecto).
- Densidad del aire: **ρ = 1,225 kg/m³.**
- Distancia mínima reglamentaria alterna asumida (tensión ≤66 kV): **D_min_reg = 2,00 m** (valor mínimo aplicable cuando no es posible 1,5*h, ver el documento adjunto de la concesión del permiso de paso). *Esta es la condición de seguridad adoptada en la verificación.*

Paralelismo a estudiar:

- Por lo antes indicado la longitud en la que hay que considerar el paralelismo es de 118-75 = 43 m., pues en el resto de la traza existente no hay tal paralelismo. Así pues, además vamos a considerar un Viento de 140 Km/h, zona A para nuestros cálculos y temperatura de 65 °C y con ello vamos a recalcular la distancia mínima entre conductores de dos líneas aéreas paralelas de media tensión, **incluyendo desplazamientos laterales por viento (blow-out)**, flechas y el efecto del desfase longitudinal entre vanos. Se adopta el caso más desfavorable de aproximación (ambos conductores hacia el interior).

- Y además comprobar separación mínima conforme a ITC-LAT 07 en paralelismos (5.6.2 remite a 5.4.1):

$$D = KF + L + K'D_{pp}$$

2. Datos de Partida. Propiedades mecánicas de los conductores (valores de catálogo adoptados)

Nota: para la memoria de cálculo se usan tablas técnicas estándar de conductores ACSR tipo LA-30 y LA-56. Estos valores son los que se emplean a efectos de cálculo en este documento.

LA-30 (valores adoptados)

- Masa lineal: $m_1 = 0,108 \text{ kg/m}$ (108 kg/km).
- Diámetro exterior aproximado: $d_1 = 7,14 \text{ mm} = 0,00714 \text{ m}$.
- Área mecánica (aprox.): $A_1 = 31,14 \text{ mm}^2 = 3,114 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$.
- Módulo de Young (acero/ aluminio combinado, valor efectivo): $E = 76\ 000 \text{ N/mm}^2 = 7,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ (valor uso común para cálculos ACSR).
- Coeficiente de dilatación térmica lineal (aprox.): $\alpha = 1,91 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.

LA-56 (valores adoptados)

- Masa lineal: $m_2 = 0,189 \text{ kg/m}$ (189 kg/km).
- Diámetro exterior aproximado: $d_2 = 9,45 \text{ mm} = 0,00945 \text{ m}$.
- Área mecánica (aprox.): $A_2 = 54,55 \text{ mm}^2 = 5,455 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$.
- Módulo de Young: $E = 7,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ (mismo valor efectivo).
- Coeficiente térmico: $\alpha = 1,91 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.

2.1 Geometría

- Separación entre ejes de líneas: **8,41 m**(se adopta este valor mínimo de distancia en todo el cálculo, según plano de planta)

- Tresbolillo: **1,10 m** (caso más desfavorable: ambos conductores “hacia el interior”)
- Distancia horizontal base entre puntos enfrentados:

$$d_{0,h} = 8,41 - 1,10 - 1,10 = 6,21 \text{ m}$$

2.2 Vanos, alturas y armados

- **Línea 1:** LA-30, vano $L_{30} = 118$; altura útil apoyo **14 m**,
- aisladores de vidrio 2 elementos $L_{s,30} = 0,22 \text{ m}$
- **Línea 2:** LA-56, vano $L_{56} = 160$; altura útil apoyo **16 m**,
- aislador polimérico $L_{s,56} = 1,00 \text{ m}$

2.3 Desfase longitudinal

Definimos coordenada longitudinal x medida desde el **apoyo de inicio** del vano existente de LA-30:

- LA-30 ocupa: $x \in [0; 118]$
- LA-56 ocupa: $x \in [75; 235]$

Tramo realmente en paralelo (solape):

$$x \in [75; 118] \Rightarrow \text{longitud solapada} = 43 \text{ m}$$

3. Cálculo de cargas por unidad de longitud (peso + viento)

3.1. Peso propio (peso gravitatorio por metro)

Usamos $w_g = m * g$ con $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

- LA-30: $w_{g1} = 0,108 * 9,81 = 1,059 \text{ N/m}$.
- LA-56: $w_{g2} = 0,189 * 9,81 = 1,854 \text{ N/m}$.

3.2. Presión dinámica del viento

Presión dinámica:

$$p = \frac{1}{2} \rho V^2.$$

- $V = 38,8889 \text{ m/s} \rightarrow p = 0,5 * 1,225 * (38,8889)^2 = 926,3 \text{ N/m}^2$ (aprox.)

Fuerza por metro inducida por el viento en el conductor: $w_v = p * d * C_d$.

- LA-30: $w_{v1} = 926,3 * 0,00714 * 1,2 = 7,94 \text{ N/m}$. (aprox.)
- LA-56: $w_{v2} = 926,3 * 0,00945 * 1,2 = 10,50 \text{ N/m}$. (aprox.)

3.3. Resultante por metro (combinación vectorial simplificada)

Para valorar la magnitud total a efectos de cálculo de flecha (en fórmulas parabólicas simplificadas) podemos combinar peso vertical y componente del viento en el plano perpendicular.

- LA-30: $w_{res1} = \sqrt{w_{g1}^2 + w_{v1}^2} \approx \sqrt{1,059^2 + 7,94^2} = 8,01 \text{ N/m}$.
- LA-56: $w_{res2} = \sqrt{1,854^2 + 10,50^2} = 10,67 \text{ N/m}$.

Para el cálculo de desplazamientos laterales por viento se utilizarán directamente las cargas de viento w_v (pues generan la componente lateral crítica para separación entre líneas).

4. Tensiones iniciales y efecto térmico (ecuación del cambio de condiciones - esquema)

Se adopta que el "esfuerzo en punta" aportado para los apoyos corresponde a la tensión horizontal equivalente inicial por conductor; el esfuerzo en Kgs., se transformará a Newtons:

- $T_{ini1} = P1 * 9,81 = 1800 * 9,81 = 17.658 \text{ N}$ (Línea 1). (conductor LA-30)
- $T_{ini2} = P2 * 9,81 = 2000 * 9,81 = 19.620 \text{ N}$ (Línea 2). (conductor LA-56)

4.1. Reducción de tensión por dilatación térmica (aproximación)

Aumento de temperatura: $\Delta T = T_{serv} - T_{ref} = 70 - 20 = +50 \text{ }^\circ\text{C}$.

La variación de fuerza axial por dilatación térmica, bajo un modelo lineal aproximado, es:

$$\Delta T_{term} \approx E * A * \alpha * \Delta T.$$

Calculamos la reducción aproximada de la tensión horizontal disponible para controlar flecha (es decir, la tensión efectiva a 70 °C) mediante:

$$T_{70} = T_{ini} - EA\alpha\Delta T.$$

Cálculos:

- LA-30:

$$EA\alpha\Delta T = E * A_1 * \alpha * 50$$

- en donde:

- $E = 7,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ módulo de Young
- $A_1 = 3,114 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ área mecánica
- $EA\alpha\Delta T \approx 7,6 * 10^{10} * 3,114 * 10^{-5} * 1,91 * 10^{-5} * 50 \approx 2.260 \text{ N}.$
- $T_{70,1} = 17.658 - 2.260 = 15.398 \text{ N}.$ tensión
- **LA-56:** $EA\alpha\Delta T \approx 7,6 * 10^{10} * 5,455 * 10^{-5} * 1,91 * 10^{-5} \cdot 50 \approx 3.959 \text{ N}.$
- $T_{70,2} = 19.620 - 3.959 = 15.661 \text{ N}.$ tensión

Nota aclaratoria: este es un método simplificado y conservador para estimar la reducción de tensión por temperatura. La ecuación del cambio de condiciones completa resuelve simultáneamente la catenaria original y la catenaria con nuevas condiciones (temperatura, viento) para hallar tensiones exactas; no obstante, la aproximación lineal del término térmico es aceptada en memorias tipo justificante cuando se complementa con un cálculo catenario numérico si se requiere mayor precisión.

5. Acciones: viento y peso

5.1 Conversión de viento a presión

$$V = \frac{140}{3,6} = 38,89 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613V^2 \approx 927 \text{ N/m}^2$$

5.2 Cargas por metro sobre cada conductor

Se considera:

- carga vertical por peso propio w_v
- carga transversal por viento w_t (cilindro, aproximación habitual $C_d \approx 1$)
- resultante $w_r = \sqrt{w_v^2 + w_t^2}$

Para esta memoria usamos los valores que se calcularon en el proyecto (para no reiterar) :

LA-56

- $w_{v,56} \approx 1,853 \text{ N/m}$
- $w_{t,56} \approx 8,761 \text{ N/m}$
- $w_{result,56} \approx 8,955 \text{ N/m}$

Ángulo de oscilación (plano inclinado):

$$\theta_{56} = \arctan \left(\frac{w_t}{w_v} \right) \approx 78,05^\circ$$

LA-30

- $w_{v,30} \approx 1,059 \text{ N/m}$
- $w_{t,30} \approx 6,619 \text{ N/m}$
- $w_{result,30} \approx 6,703 \text{ N/m}$
- $\theta_{30} \approx 80,91^\circ$

5.3. Tracción a 65 °C (cambio de condiciones)

Para pasar de un estado de referencia a 65 °C, se usa la ecuación de estado (modelo parabólico clásico):

$$\frac{H_2 - H_1}{EA} + \alpha\Delta T + \frac{w^2 L^2}{24} \left(\frac{1}{H_2^2} - \frac{1}{H_1^2} \right) = 0$$

Donde:

- H = componente horizontal de la tracción
- A = sección del conductor
- E = módulo elástico
- α = coef. dilatación
- w = carga resultante por metro (aquí con viento)
- L = vano
- $\Delta T = 70^\circ C$ (de $-5^\circ C$ a $65^\circ C$)

Se toma como referencia:

$H_1 = 2000 \text{ kgf} = 19,613 \text{ kN}$ (considerando el esfuerzo en punta igual en ambas líneas pues se desconoce el cálculo de la línea existente, aunque creo que la aproximación puede ser válida)

Resultados (estado a 65 °C y 140 km/h):

- LA-56 ($L=160 \text{ m}$): $H_{2,56} \approx 12,88 \text{ kN}$
- LA-30 ($L=118 \text{ m}$): $H_{2,30} \approx 16,40 \text{ kN}$

5.4. Flecha y componentes (vertical y lateral) en cada vano

Se usa la expresión parabólica de flecha en el plano resultante:

$$f_r = \frac{w_r L^2}{8H_2}$$

y sus componentes:

$$f_v = f_r \frac{w_v}{w_r}, \quad f_t = f_r \frac{w_t}{w_r}$$

Resultados máximos (en el centro del vano)

LA-56 (160 m)

- $f_{v,max,56} = 0,461 \text{ m}$
- $f_{t,max,56} = 2,177 \text{ m}$

LA-30 (118 m)

- $f_{v,max,30} = 0,112 \text{ m}$
- $f_{t,max,30} = 0,702 \text{ m}$

6. Desplazamiento lateral total (blow-out)

Se denomina desplazamiento lateral total (blow-out) al desplazamiento horizontal máximo del conductor, respecto a su posición en reposo, debido a la acción del viento, considerando tanto la curvatura del conductor en el vano como el giro de la cadena de suspensión

Según esto, podemos establecer que en líneas paralelas:

- Cada conductor tiene su propio blow-out
- Ambos pueden desplazarse hacia el interior simultáneamente

Por eso la distancia mínima se calcula como

$$D_{min} = d_0 - x_{blow-out, \text{ línea 1}} - x_{blow-out, \text{ línea 2}}$$

Y luego se compara con la distancia reglamentaria de la ITC-LAT 07

El conductor se desplaza lateralmente por:

1. curvatura del vano (flecha lateral f_t)
2. giro del aislador/cadena (desplazamiento x_{ais})

$$x_{ais} = L_s \text{sen } \theta \text{ (desplazamiento lateral por giro del aislador/cadena)}$$

$$x_{\max} = f_{t,\max} + x_{ais}$$

Luego en cada caso tendremos:

Línea LA-56 (vano 160 m., poste de 16 m)

- Flecha lateral máxima por curvatura del vano:

$$f_{t,\max,56} = 2,177 \text{ m}$$

- Giro del aislador(cadena)

$$x_{ais,56} = 1,00 \text{sen } 78,05^\circ = 0,978 \text{ m}$$

- **Blow-out máximo**

$$x_{\max,56} = 2,177 + 0,978 = 3,156 \text{ m.}$$

Línea LA-30 (vano 118 m., poste de 14 m)

- Flecha lateral máxima por curvatura del vano:

$$f_{t,\max,30} = 0,702 \text{ m}$$

- Giro del aislador(cadena)

$$x_{ais,30} = 0,22 \text{sen } 80,91^\circ = 0,217 \text{ m}$$

- **Blow-out máximo**

$$x_{\max,30} = 0,702 + 0,217 = 0,920 \text{ m.}$$

6.1. Variación del blow-out dentro del vano (parábola)

Para cualquier vano L , la flecha (vertical o lateral) en una sección a distancia s desde un apoyo se aproxima por:

$$f(s) = \frac{4f_{\max}}{L^2} s (L - s)$$

Entonces:

- **Desplazamiento lateral total hacia el interior:**

$$x(s) = x_{ais} + f_t(s)$$

- **Cota del conductor (en el punto del vano):**

$$z(s) = z_{apoyo} - L_s \cos \theta - f_v(s)$$

6.2. Relación entre la coordenada común x y la posición en cada vano

En el tramo solapado $x \in [75, 118]$:

- Para LA-30 (su apoyo inicial está en $x = 0$):

$$s_{30} = x$$

- Para LA-56 (su apoyo inicial está en $x = 75$):

$$s_{56} = x - 75$$

6.3. Distancia horizontal base (tresbolillo, peor caso)

$$d_{0,h} = 8,41 - 1,10 - 1,10 = 6,21 \text{ m}$$

Y la separación horizontal real:

$$d_h(x) = d_{0,h} - x_{56}(s_{56}) - x_{30}(s_{30})$$

La separación vertical:

$$d_v(x) = z_{56}(s_{56}) - z_{30}(s_{30})$$

Y la distancia espacial mínima:

$$d_{3D}(x) = \sqrt{d_h(x)^2 + d_v(x)^2}$$

7. Resultado: distancia mínima en el tramo realmente paralelo

En este apartado vamos a considerar dos posibles escenarios y se verá a continuación que ambos cumplen, ello sin considerar que el apoyo de inicio del desfase de la línea LA-56 que es la que se proyecta es un apoyo de amarre con lo que el blow-out en ella por desplazamiento sería 0

Primer escenario:

A.1. Separación horizontal mínima (máximos simultáneos)

$$d_{h,\min} = d_{0,h} - x_{\max,56} - x_{\max,30}$$

$$d_{h,\min} = 6,21 - 3,156 - 0,920$$

A.2. Separación vertical conservadora

La separación vertical mínima en el punto crítico se aproxima como:

$$d_v = (16 - \Delta z_{56}) - (14 - \Delta z_{30})$$

En donde Δz recoge (en el punto crítico) componente vertical de suspensión y flecha vertical. En el enfoque conservador A, tomaremos las máximas flechas verticales en el centro del vano y las componentes verticales de suspensión:

$$\Delta z_{56} = L_{s,56} \cos \theta_{56} + f_{v,max,56}$$

$$\Delta z_{30} = L_{s,30} \cos \theta_{30} + f_{v,max,30}$$

Siendo las componentes verticales de suspensión:

$$L_{s,56} \cos \theta_{56} = 1,00 \cos 78,05 = 0,208 \text{ m}$$

$$L_{s,30} \cos \theta_{30} = 0,22 \cos 80,91 = 0,034 \text{ m}$$

Entonces:

$$d_v = (16 - 0,208 - 0,461) - (14 - 0,034 - 0,112)$$

$$d_v = 15,331 - 13,854 = 1,477 \text{ m}$$

A.3. Distancia espacial mínima 3D:

$$d_{min3D} = \sqrt{d_{h,min}^2 + d_v^2}$$

Resultado conservador:

$$d_{min3D} = \sqrt{2,134^2 + 1,477^2} = 2,59 \text{ m.}$$

Segundo escenario:

Considerando ahora márgenes de revisión: “viento+ 10%, herraje, +5% flecha vertical”

Hipótesis B:

1.- Viento trasversal efectivo + 10%

$$f_{t,max} = 1,10 f_{t,max}$$

2.- Longitud efectiva de suspensión (herrajes)

- LA-56: $L_{s,56} = 1,10 \text{ m}$
- LA-30: $L_{s,30} = 0,30 \text{ m}$

3.- Flecha vertical + 5% (tolerancia)

$$f_{v,max} = 1,05 f_{v,max}$$

4.- Ángulo θ , al aumentar el componente trasversal, el giro crece, lo incrementaremos también en:

$$\tan \theta = 1,10 \tan \theta$$

Blow-out máximo:

LA-56

- Flecha lateral: $f_{t,max,56} = 1,10 * 2,177 = 2,395 \text{ m.}$
- Giro de suspensión: $x_{ais,56} = L_{s,56} \text{sen } \theta = 1,08 \text{ m.}$
- **Blow-out:** $x_{max,56} = 2,395 + 1,08 = 3,48 \text{ m.}$

LA-30

- Flecha lateral: $f_{t,max,30} = 1,10 * 0,702 = 0,772 \text{ m.}$
- Giro de suspensión: $x_{ais,30} = L_{s,30} \text{sen } \theta = 0,30 * 0,99 = 0,30 \text{ m.}$
- **Blow-out:** $x_{max,30} = 0,772 + 0,30 = 1,07 \text{ m.}$

$$\text{Blow-out total} = x_{\Sigma} = 3,48 + 1,07 = 4,55 \text{ m}$$

B.2. Separación horizontal mínima (con márgenes)

$$d_{h,\min} = d_{0,h} - x_{\Sigma}$$

$$d_{h,\min} = 6,21 - 4,55 = 1,66 \text{ m.}$$

B.3. Separación vertical conservadora (con márgenes)

LA-56 Flecha vertical: $f_{v,\max,56} = 1,05 * 0,461 = 0,484 \text{ m.}$

LA-30 Flecha vertical: $f_{v,\max,30} = 1,05 * 0,112 = 0,118 \text{ m.}$

Componentes verticales de suspensión:

LA-56: $L_{s,56} \cos \theta = 1,10 * 0,20 = 0,22$

LA-30: $L_{s,30} \cos \theta = 0,30 * 0,16 = 0,05$

Entonces:

$$d_v = (16 - 0,22 - 0,484) - (14 - 0,05 - 0,118)$$

$$d_v = 15,296 - 13,882 = 1,46 \text{ m}$$

B.4. Distancia espacial mínima 3D (con márgenes)

$$d_{\min 3D} = \sqrt{d_{h,\min}^2 + d_v^2}$$

$$d_{\min 3D} = \sqrt{1,66^2 + 1,46^2} = 2,21 \text{ m.}$$

8. Paralelismo parcial por desfase longitudinal (cálculo “real” de distancia mínima)

Aquí está lo importante: como los vanos **no están alineados**, en el tramo paralelo **NO** coinciden los centros de vano de ambos conductores, por lo que **no se alcanzan simultáneamente**

Con los datos antes calculados podemos formar la siguiente tabla :

Caso	Hipótesis clave	$d_{h,min}$	$d_{v,min}$	$d_{min}3D$
Real (con desfase 75 m)	Solape 43 m.	3,303m.	1,465m.	3,613 m.
Conservador maximos simultaneos	No se aprovecha desfase	2,134m.	1,477m.	2,59 m.
Conservador márgenes revisión	Viento+10%, herrajes, flechas 5%	1,66 m.	1,46 m.	2,21 m.

9. Comprobación reglamentaria ITC-LAT 07 (paralelismo)

Para paralelismos, se exige que no exista separación inferior a la de 5.4.1:

$$D = K F + L + K' D_{pp}$$

Parámetros adoptados ya indicados en el proyecto (caso de MT 15 kV):

- $D_{pp} = 0,20 \text{ m}$
- como $\theta > 65^\circ \Rightarrow K = 0,65$
- $K' = 0,75$
- $L =$ mayor longitud de suspensión $\Rightarrow L = 1,00$ aisladores de polipreno de 1 m., de longitud
- $F =$ flecha máxima adoptada \Rightarrow para ser conservador tomo la mayor flecha vertical calculada en la hipótesis:

$$F = 0,461 \text{ m}$$

$$D_{reg} = 0,65 * 0,461 + 1,00 + 0,75 * 0,22 = 1,46 \text{ m}$$

Comparación:

- Distancia mínima real con desfase: $d_{\min,3D} 2,20 \text{ m}$
- Exigencia reglamentaria: $D_{reg} \approx 1,46 \text{ m}$

Cumple con margen $\approx 0,78 \text{ m}$

10. Conclusión técnica clara para interpretación

1. Los máximos blow-out por vano son:

- LA-56 (160 m): **3,156 m**
- LA-30 (118 m): **0,920 m**

2. Pero debido al **desfase longitudinal de 75 m**, el paralelismo solo existe en **43 m**, y en ese tramo **no coinciden los máximos de ambos**, por lo que la distancia mínima real entre conductores sube a:

$$d_{\min,3D} \approx 2,20 \text{ m}$$

La exigencia ITC-LAT 07 para separación mínima resulta:

$$D_{reg} \approx 1,46 \text{ m}$$

Por tanto, el **paralelismo cumple** holgadamente en el **caso real** con desfase (desplazamiento del origen considerado) y **aún más pues se ha considerado el caso más improbable de aproximación interior de las dos líneas**

Sevilla a enero de 2.026

El Graduado en Ingeniería Eléctrica

Colegiado nº 5.986 del COGITI de Sevilla

Fdo.- Francisco José Reyna Martín